



## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **2000304614 A**(43) Date of publication of application: **02.11.00**

(51) Int. Cl. **G01J 3/18**  
**G01J 3/14**  
**G02B 5/04**  
**G02B 5/18**

(21) Application number: **11118084**(22) Date of filing: **26.04.99**(71) Applicant: **YOKOGAWA ELECTRIC CORP**

(72) Inventor: **SUZUKI YASUYUKI**  
**SANPEI YOSHIHIRO**

(54) **SPECTROSCOPE**

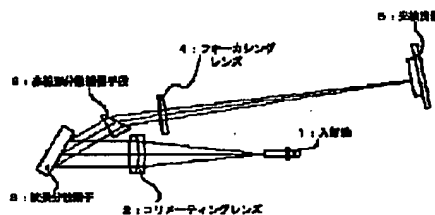
## (57) Abstract

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To flatten the wavelength dispersion characteristics by providing a wavelength dispersion element which wavelength-disperses the parallel light from a collimating lens, compensating non-linearity of the out-going angle of the wavelength dispersion element, and detecting the output of a focusing lens.

**SOLUTION:** The device comprises a collimating lens 2, a wavelength dispersion element 3, a non-linear dispersion compensating means 6, a focusing lens 4, and a photodetector 5. The wavelength dispersion element 3 is a diffraction grating. The non-linear dispersion compensating means 6 is a plurality of prisms of the same refractive angle which allow the output light from the wavelength dispersion element 3 to be refracted once in each facing direction on the same plane. With this configuration, the output light from an incident end is converted into the parallel light with the collimating lens 2, and made incident on the wavelength dispersion element 3 such as a diffraction grating. The diffracted light

from the wavelength dispersion element 3 is condensed with the focusing lens 4 through the non-linear dispersion correcting means 6 and then made incident on the photodetector 5.

COPYRIGHT: (C)2000,JPO



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-304614

(P2000-304614A)

(43) 公開日 平成12年11月2日 (2000. 11. 2)

| (51) Int.Cl. <sup>7</sup> | 識別記号 | F I     | テマコード* (参考) |
|---------------------------|------|---------|-------------|
| G 0 1 J                   | 3/18 | G 0 1 J | 2 G 0 2 0   |
|                           | 3/14 |         | 2 H 0 4 2   |
| G 0 2 B                   | 5/04 | G 0 2 B | F 2 H 0 4 9 |
|                           | 5/18 |         | 5/18        |

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願平11-118064

(22) 出願日 平成11年4月26日 (1999. 4. 26)

(71) 出願人 000006507

横河電機株式会社

東京都武蔵野市中町2丁目9番32号

(72) 発明者 鈴木 泰幸

東京都武蔵野市中町2丁目9番32号 横河  
電機株式会社内

(72) 発明者 三瓶 義広

東京都武蔵野市中町2丁目9番32号 横河  
電機株式会社内

Fターム(参考) 2G020 CC08 CC63 CD04 CD11 CD24

2H042 CA00 CA17

2H049 AA07 AA50 AA51 AA58 AA59

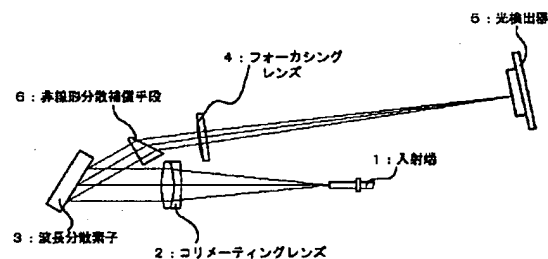
AA64

(54) 【発明の名称】 分光装置

(57) 【要約】

【課題】 波長分散特性の平坦化が可能な分光装置を実現する。

【解決手段】 波長分散素子を用いた分光装置において、入射光を平行光にするコリメーティングレンズと、このコリメーティングレンズからの平行光を波長分散させる波長分散素子と、この波長分散素子の出射角の非線形性を補償する非線形分散補償手段と、この非線形分散補償手段の出力を集光するフォーカシングレンズと、このフォーカシングレンズの出力光を検出する光検出器とを設ける。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】波長分散素子を用いた分光装置において、入射光を平行光にするコリメーティングレンズと、このコリメーティングレンズからの前記平行光を波長分散させる波長分散素子と、

この波長分散素子の出射角の非線形性を補償する非線形分散補償手段と、

この非線形分散補償手段の出力を集光するフォーカシングレンズと、

このフォーカシングレンズの出力光を検出する光検出器とを備えたことを特徴とする分光装置。

【請求項2】前記波長分散手段が、

回折格子であることを特徴とする請求項1記載の分光装置。

【請求項3】前記非線形分散補償手段が、

プリズムであることを特徴とする請求項1記載の分光装置。

【請求項4】前記非線形分散補償手段が、

前記波長分散素子からの出力光を同一平面上で相対する方向に1回つづ屈折するように同一屈折角の2つのプリズムを配置したことを特徴とする請求項1記載の分光装置。

【請求項5】前記非線形分散補償手段と前記波長分散素子を一体化したことを特徴とする請求項1記載の分光装置。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、波長分散素子を用いた分光装置に関し、特に波長分散特性の平坦化が可能な分光装置に関する。

【0002】

【従来の技術】従来の分光装置では入射光を波長分散素子である回折格子等に照射して波長分散された光を光検出器で受光することにより波長毎に光を分離して検出するものである。

【0003】図6はこのような従来の分光装置の一例を示す構成図である。図6において1は外部から光源の出力光、若しくは、光ファイバからの出射光が入射される入射端、2はコリメーティングレンズ、3は回折格子等の波長分散素子、4はフォーカシングレンズ、5はフォトダイオードアレイ等を用いた光検出器である。

【0004】入射端1からの出力光はコリメーティングレンズ2により平行光に変換されて波長分散素子3に入射される。波長分散素子3からの波長分散された光はフォーカシングレンズ4により集光されて光検出器5に入射される。

【0005】ここで、図6に示す従来例の動作を説明する。回折格子等の波長分散素子3に入射された光はその波長により回折角が異なるので、それぞれ異なる方向に回折光として出射され、フォーカシングレンズ4により

光検出器5を構成する各受光素子にそれぞれ集光される。

【0006】例えば、図6中“FP01”、“FP02”及び“FP03”に位置する受光素子では異なる波長の光が集光される。図6に示す従来例では回折格子等の波長分散素子3を回転させる必要がないので高速性及び信頼性に優れている。

【0007】例えば、回折格子等の波長分散素子3の回折の次数を“m”、回折格子等の波長分散素子3の格子定数を“d”、回折格子等の波長分散素子3への入射角及び出射角を“i”及び“θ”、波長を“λ”とすれば、

$$m\lambda/d = \sin i + \sin \theta \quad (1)$$

となる。

【0008】図6に示すような分光装置をWDM (Wavelength Division Multiplexing: 波長多重) 伝送システム監視モニタ等のように狭い波長範囲を扱うように設計した場合にはフォーカシングレンズ4の焦点距離と比較して波長分散による光路の広がり小さくなり、光検出器5として1次元配列のフォトダイオードアレイを用いた時の各素子の位置と出射角はほぼ比例関係になる。

【0009】但し、波長と出射角との関係は式(1)を微分した、

$$d\lambda/d\theta|_i = (d/m) \cdot \cos \theta \quad (2)$$

となる。

【0010】式(2)から分かるように波長と分散角は出射角の余弦に比例することになる。この出射角は分光装置の波長範囲、用いる回折格子の格子定数及びフォーカシングレンズ4の焦点距離等を用いて式(1)から求めることができる。

【0011】図7はこのような分光装置の一設計例を示す表であり、図8は各波長に対する出射角を示す表である。この場合、例えば、“λ=1.55[μm]”、溝本数“900[1/mm]”及び“32[nm]”の波長範囲で“190素子”の受光素子とすれば、平均波長分散は“32/190=約0.17[nm]”となる。

【0012】

【発明が解決しようとする課題】しかし、図6に示す従来例において図7に示す表を用いて式(2)から実際の波長の波長分散を計算すると図9に示すようになる。図9は波長と波長分散との関係を示す表であり、図9から分かるように“1531[nm]”の波長の波長分散は光検出器5を構成する受光素子1素子当たり“0.1927[nm]”であるのに対して、“1563[nm]”の波長の波長分散は光検出器5を構成する受光素子1素子当たり“0.1462[nm]”となり、波長分散に依存性があることが分かる。

【0013】すなわち、最悪値を基準として分光装置を設計した場合にはある波長領域ではオバースペックとなりコスト高になってしまうと言った問題点があった。従

って本発明が解決しようとする課題は、波長分散特性の平坦化が可能な分光装置を実現することにある。

【0014】

【課題を解決するための手段】このような課題を達成するために、本発明のうち請求項1記載の発明は、波長分散素子を用いた分光装置において、入射光を平行光にするコリメーティングレンズと、このコリメーティングレンズからの前記平行光を波長分散させる波長分散素子と、この波長分散素子の出射角の非線形性を補償する非線形分散補償手段と、この非線形分散補償手段の出力を10 集光するフォーカシングレンズと、このフォーカシングレンズの出力光を検出する光検出器とを備えたことにより、波長分散素子の出射角の余弦成分に起因する非線形性が非線形分散補償手段の余弦成分による非線形性で補償されることになり、波長分散特性の平坦化が可能になる。

【0015】請求項2記載の発明は、請求項1記載の発明である分光装置において、前記波長分散手段が、回折格子であることにより、波長分散特性の平坦化が可能になる。

【0016】請求項3記載の発明は、請求項1記載の発明である分光装置において、前記非線形分散補償手段が、プリズムであることにより、波長分散特性の平坦化が可能になる。

【0017】請求項4記載の発明は、請求項1記載の発明である分光装置において、前記非線形分散補償手段が、前記波長分散素子からの出力光を同一平面上で相対する方向に1回づつ屈折するように同一屈折角の2つのプリズムを配置したことにより、屈折角の温度特性を補償することが可能になる。

【0018】請求項5記載の発明は、請求項1記載の発明である分光装置において、前記非線形分散補償手段と前記波長分散素子を一体化したことにより、波長分散素子の出射角の余弦成分に起因する非線形性が非線形分散補償手段の余弦成分による非線形性で補償されることとなる。また、一体化することにより互いの位置の調整が不要になるので信頼性が向上する。

【0019】

\*

$$\sin \theta_1 + \sin \theta_2 = \lambda / d \quad (6)$$

$$(1/n) \cdot (d\theta_2 / d\lambda) = -d\theta_1 / d\lambda \quad (7)$$

$$n \cdot \sin \theta_1 = \sin \theta_2 \quad (8)$$

となる。

【0026】そして、式(6)から式(8)を微分して※

$$d\theta_1 / d\lambda = \cos \theta_1 / (d \cdot \cos \theta_2 \cdot \cos \theta_1) \quad (9)$$

となる。

★ ★ 【0027】さらに、式(9)を変形して、

$$\begin{aligned} d^2 \theta_1 / d\lambda^2 &= (d\theta_1 / d\lambda)^2 \\ &\times \{ \sin \theta_1 / \cos \theta_1 \\ &\quad - (\sin \theta_2 \cdot \cos \theta_1) / (\cos \theta_2 \cdot \cos \theta_1) \\ &\quad - (\sin \theta_1 \cdot \cos \theta_1) / (n \cdot \cos^2 \theta_1) \} \quad (10) \end{aligned}$$

となる。

50 【0028】ここで、この特性が線形であるために

\*【発明の実施の形態】以下本発明を図面を用いて詳細に説明する。図1は本発明に係る分光装置の一実施例を示す構成図である。図1において1、2、3、4及び5は図6と同一符号を付してあり、6はプリズム等の非線形分散補償手段である。

【0020】入射端1からの出力光はコリメーティングレンズ2により平行光に変換され回折格子等の波長分散素子3に入射される。回折格子等の波長分散素子3からの回折光は非線形分散補償手段6を介してフォーカシング10 グレンズ4により集光されて光検出器5に入射される。

【0021】ここで、図1に示す実施例を図2を用いて説明する。図2は波長分散素子3及び非線形分散補償手段6での光路を説明する説明図であり、また、基本的な動作は図6に示す従来例と同様であるので説明は省略する。

【0022】式(2)を変形すると、

$$d\lambda = (d/m) \cdot \cos \theta \cdot d\theta \quad (3)$$

となり、光検出器5を構成する受光素子が等間隔であるとする余弦成分( $\cos \theta$ )に起因して波長分散に不均一が生じることとなる。言い換えれば、非線形性が存在する。

【0023】一方、屈折の式は媒質の屈折率を" $n_1$ 、"及び" $n_2$ 、"、入射角及び出射角を" $\phi$ "及び" $\psi$ "とすると、

$$n_1 \cdot \sin \phi = n_2 \cdot \sin \psi \quad (4)$$

となり、" $\phi$ "で微分すると、

$$n_1 \cdot \cos \phi \cdot d\phi = n_2 \cdot \cos \psi \cdot d\psi \quad (5)$$

となる。

【0024】式(5)から分かるように屈折角もまた余弦成分に依存する。従って、波長分散素子3の出射角の余弦成分に起因する非線形性を屈折(非線形分散補償手段6)の余弦成分による非線形性で補償することが可能になる。

【0025】図2において波長分散素子3の入射角及び出射角を" $\theta_1$ 、"及び" $\theta_2$ 、"、非線形分散補償手段6の入射角及び出射角を" $\theta_3$ 、"及び" $\theta_4$ 、"とし、非線形分散補償手段6の屈折率を" $n$ 、"、波長を" $\lambda$ "とすれば、

※整理することにより平均波長分散が得られ、

は、" $d^2\theta_s/d\lambda^2=0$ "であるから、式(10)を\* \*変形して、

$$\begin{aligned} \tan\theta_s/(1-n^2\sin^2\theta_s) \\ = n\cdot\tan\theta_s/(n^2-1) \end{aligned} \quad (11)$$

となる。

※る。図3は受光素子位置に対する波長差を示す特性曲線図である。

【0029】例えば、以下の条件に基づいて波長分散特

性を式(9)を用いて計算すると図3に示すようにな ※

|                     |                      |
|---------------------|----------------------|
| (a) 光検出器5の使用素子数     | 約180                 |
| (b) 光検出器5の素子間隔      | 50 [ $\mu\text{m}$ ] |
| (c) フォーカシングレンズの焦点距離 | 103.5 [mm]           |
| (d) 使用波長範囲          | 1532~1564 [nm]       |
| (e) 回折格子の入射角        | 31.22 [ $^\circ$ ]   |
| (f) 回折格子の出射角        | 61 [ $^\circ$ ]      |
| (g) 回折格子のライン数       | 900 [本/mm]           |
| (h) プリズムの入射角        | 33.5643 [ $^\circ$ ] |
| (i) プリズムの出射角        | 56 [ $^\circ$ ]      |
| (j) 屈折率             | 1.5                  |

【0030】図3から分かるように隣接する受光素子間の波長誤差は" $0.173\sim0.1745$ "の範囲であり図9に示した従来例よりも平坦な特性になっている。

【0031】この結果、波長分散素子3の出射光を非線形分散補償手段6で補正することにより、波長分散素子3の出射角の余弦成分に起因する非線形性が非線形分散補償手段6の余弦成分による非線形性で補償されることになり、波長分散特性の平坦化が可能になる。

【0032】なお、図1に示す実施例では非線形分散補償手段6と波長分散素子3を別個に記載しているが一体化したものであっても構わない。図4はこのような波長分散素子と一体化したプリズム等の非線形分散補償手段の一例を示す構成図である。

【0033】図4において3aは回折格子等の波長分散素子、7は波長分散素子3aに一体形成されたプリズム等の非線形分散補償手段である。図4中"1L11"に示す入射光は図4中"S001"に示す非線形分散補償手段7の表面を透過して端面に設けられた波長分散素子★

★3aに入射する。波長分散素子3aで生じた回折光は非線形分散補償手段7内を伝播して図4中"S002"に示す表面で屈折して非線形性が補償されて図4中"OL11"に示す出射光として出射される。

【0034】この場合には、波長分散素子と非線形分散補償手段とを一体化することにより互いの位置の調整が不要になるので信頼性が向上する。この場合の波長分散特性と平坦化の条件を示す式は以下の通りである。例えば、波長分散素子3aの入射角及び出射角を" $\theta_1'$ "及び" $\theta_2'$ "、非線形分散補償手段7の入射角及び出射角を" $\theta_3'$ "及び" $\theta_4'$ "とし、非線形分散補償手段7の屈折率を" $n'$ "、波長を" $\lambda'$ "とすれば

$$\sin\theta_1' + \sin\theta_2' = \lambda' / d \cdot n' \quad (12)$$

$$d\theta_2' / d\lambda' = -d\theta_1' / d\lambda' \quad (13)$$

$$n' \cdot \sin\theta_3' = \sin\theta_4' \quad (14)$$

となる。

【0035】そして、式(12)から式(14)を微分して整理することにより平均波長分散が得られ、

$$d\theta_4' / d\lambda' = \cos\theta_3' / (d \cdot \cos\theta_2' \cdot \cos\theta_4') \quad (15)$$

となる。

☆☆【0036】さらに、式(15)を変形して、

$$\begin{aligned} d^2\theta_4' / d\lambda'^2 &= (d\theta_4' / d\lambda')^2 \\ &\times \{ \sin\theta_4' / \cos\theta_4' \\ &- (\sin\theta_2' \cdot \cos\theta_4') / (n' \cdot \cos\theta_2' \cdot \cos\theta_3') \\ &- (\sin\theta_3' \cdot \cos\theta_4') / (n' \cdot \cos^2\theta_3') \} \end{aligned} \quad (16)$$

となる。

◆は、" $d^2\theta_4' / d\lambda'^2=0$ "であるから、式(16)を変形して、

$$\begin{aligned} \tan\theta_3' / (1-n'^2\sin^2\theta_3') \\ = n' \cdot \tan\theta_2' / (n'^2-1) \end{aligned} \quad (17)$$

となる。

【0038】式(17)は屈折率" $n'$ "の影響分が違っているだけでありほぼ同一の式となるので図1に示した実施例と同様に、波長分散素子3aの出射角の余弦成

分に起因する非線形性が一体化された非線形分散補償手段7の余弦成分による非線形性で補償されることになり、波長分散特性の平坦化が可能になる。また、一体化することにより互いの位置の調整が不要になるので信頼

性が向上する。

【0039】また、図1に示す実施例では非線形分散補償手段6として1つのプリズムを用いているが同一屈折角のプリズムを2つ用いることにより、屈折角の温度特性を補償することが可能になる。

【0040】図5は非線形分散補償手段として2つのプリズムを用いると共に一方に回折格子等の波長分散素子を一体化した場合を示す説明図である。図5において3bは回折格子等の波長分散素子、8及び9はプリズム等である2つの非線形分散補償手段である。

【0041】図5中“1L21”に示す入射光は非線形分散補償手段8を透過して波長分散手段3bに入射され、波長分散素子3bで波長分散された光は回折光として再び非線形分散補償手段8を透過して図5中“S101”に示す表面で時計回りに屈折されて図5中“OL21”に示す出射光となる。さらに、図5中“OL21”に示す出射光は非線形分散補償手段9により図5中“S102”に示す表面で紙面反時計回りに屈折されて図5中“OL22”に示す出射光となる。

【0042】すなわち、非線形分散補償手段8及び9の屈折角を同一にすれば同一平面上で相対する方向に1回ずつ屈折されるため波長分散素子3bでの回折光と図5中“OL21”に示す出射光との角度は同一である。

【0043】このため、非線形分散補償手段8及び9の温度特性により屈折角が変動しても互いにその変動分は相殺されるので、屈折角の温度特性の補償ができることになる。

【0044】また、波長分散素子3bと非線形分散補償手段8を一体化する場合には波長分散素子3bを非線形分散補償手段8に貼りつけても、非線形分散補償手段8に直接形成しても構わない。

【0045】また、図5に示す実施例では一方のプリズム8と波長分散素子3bを一体化しているがこれらを分離しても構わない。

【0046】また、波長分散素子としては通常の回折格子を例示したが、高次で用いるEchelon格子やEchelette格子であっても同様に用いることが可能である。

【0047】

【発明の効果】以上説明したことから明かなように、本発明によれば次のような効果がある。請求項1、2及び請求項3の発明によれば、波長分散素子の出射光を非\*

\*線形分散補償手段で補正することにより、波長分散素子の出射角の余弦成分に起因する非線形性が非線形分散補償手段の余弦成分による非線形性で補償されることになり、波長分散特性の平坦化が可能になる。

【0048】また、請求項4の発明によれば、波長分散素子からの出力光を同一平面上で相対する方向に1回ずつ屈折するように同一屈折角の2つのプリズムを配置したことにより、屈折角の温度特性を補償することが可能になる。

10 【0049】また、請求項5の発明によれば、波長分散素子と非線形分散補償手段とを一体化することにより、波長分散素子の出射角の余弦成分に起因する非線形性が非線形分散補償手段の余弦成分による非線形性で補償されることになる。また、一体化することにより互いの位置の調整が不要になるので信頼性が向上する。

【0050】また、波長分散を均一にすることで、結果的に検出器上の結晶面で波長に対してビーム径をほぼ一定にすることができるので安定な光学系が得られる。

【図面の簡単な説明】

20 【図1】本発明に係る分光装置の一実施例を示す構成図である。

【図2】波長分散素子及び非線形分散補償手段での光路を説明する説明図である。

【図3】受光素子位置に対する波長差を示す特性曲線図である。

【図4】波長分散素子と一体化した非線形分散補償手段の一例を示す構成図である。

30 【図5】非線形分散補償手段として2つのプリズムを用いると共に一方に波長分散素子を一体化した場合を示す説明図である。

【図6】従来の分光装置の一例を示す構成図である。

【図7】分光装置の一設計例を示す表である。

【図8】各波長に対する出射角を示す表である。

【図9】波長と波長分散との関係を示す表である。

【符号の説明】

- 1 入射端
- 2 コリメーティングレンズ
- 3, 3a, 3b 波長分散素子
- 4 フォーカシングレンズ
- 5 光検出器
- 6, 7, 8, 9 非線形分散補償手段

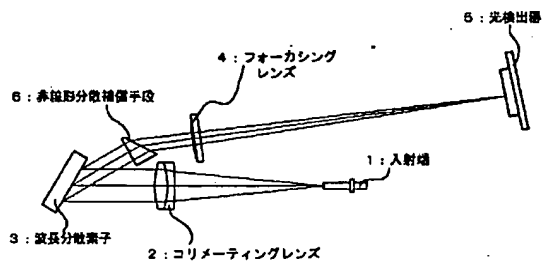
【図8】

| 波長 [nm] | 出射角 [°] |
|---------|---------|
| 1531    | 68.97   |
| 1547    | 71.4    |
| 1563    | 74.19   |

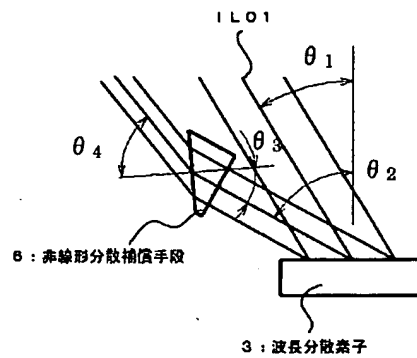
【図9】

| 波長 [nm] | 波長分散 [nm/pxl] |
|---------|---------------|
| 1531    | 0.1927        |
| 1547    | 0.1712        |
| 1563    | 0.1462        |

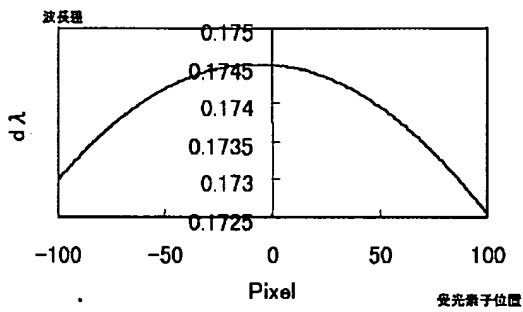
【図1】



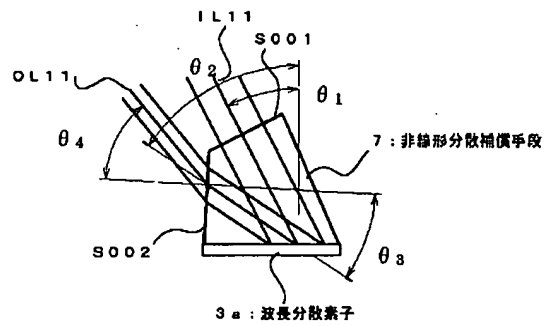
【図2】



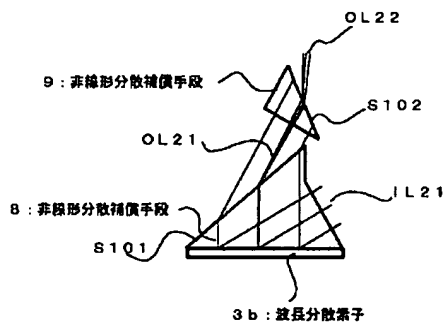
【図3】



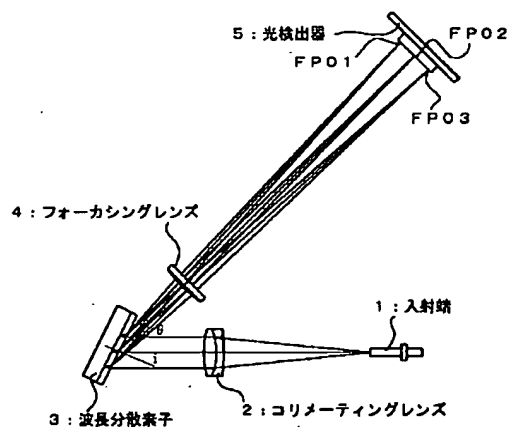
【図4】



【図5】



【図6】



【図7】

|                |                       |
|----------------|-----------------------|
| 波長範囲           | 1531~83nm             |
| 格子定数           | $1.11 \times 10^{-8}$ |
| 入射角            | $26.39^\circ$         |
| 次数             | 1                     |
| フォーカシングレンズの距離  | 103.5mm               |
| フォトダイオードアレイの間隔 | $50\mu\text{m}$       |